

氮气保护中低温压敏电阻器铜浆的研发

牛继恩, 陈甲天, 陈映义, 肖文华

福建瑞升电子科技有限公司 诏安 363500

摘要: 本文研究氮气气氛下不同烧结温度对氧化性压敏电阻直流三参数的影响, 确定低温烧结铜浆可以保证较小的漏电流和高 α 系数。笔者通过选取合适的铜粉粒径及其搭配, 同时对 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{BO}_3$ 为主晶相的玻璃进行系统的掺杂, 研究不同的掺杂物质对玻璃软化温度和铜浆烧结性能的影响, 经过不断优化开发出可在低温 (380°C) 下烧结, 且铜层的附着力 $> 1\text{kN/mm}^2$ 的压敏电阻器铜浆。

关键词: 氮气气氛, 玻璃粉, 低温铜浆, 附着力, 压敏电阻

Development of copper slurry for low temperature varistor in nitrogen protection

NIU jien, CHEN jiatian, CHEN yingyi, XIAO wenhua

Fujian Ruisheng Electronic Technology Co., Ltd. Zhaoan 363500

Abstract: In this paper, the effects of sintering temperature on the three parameters of oxidation varistors are studied. The results show that the low temperature sintered copper paste can ensure a small leakage current and a high coefficient. The effects of different dopants on the softening temperature of glass and the sintering properties of copper paste were studied by selecting the suitable particle size and matching of copper powder and systematically doping the glass with $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{BO}_3$ as the main crystalline phase, the copper paste of varistor which can be sintered at low temperature (380°C) and the adhesion of copper layer is more than 1 kN/mm^2 has been optimized and developed.

Key words: Nitrogen atmosphere, glass powder, low temperature copper paste, adhesion, varistor

1 引言

压敏电阻器是一类电阻值随电压变化而具有的非线性特性^[1]的电子元件, 在临界电压以上, 该类元件能在瞬间通过大电流而避免电压的快速升高, 其主要用途电源供应器、通信设备、电力线智能通讯设备、防雷设备等。氧化锌压敏电阻器是使用最广泛的压敏电阻器。它以氧化锌为主材料, 在原料中加入多种金属氧化物在空气气氛中经过高温烧结而成的陶瓷半导体元器。决定压敏电阻器的可靠性因素: 主要有压敏电阻器基体、电极材料及外层封装树脂, 当压敏电阻器基体及外层封装树脂确定后, 影响压敏电阻器的可靠性最关键的因素就是压敏电阻器的电极。

目前常用氧化锌压敏电阻器的电极材料是贵金属银电极^[2], 而银电极浆料烧结温度在 $600 \sim 650^\circ\text{C}$ 之间, 在此温度上压敏电阻器性能易劣化, 工艺条件苛刻, 且整个银电极成本约占压敏电阻器总成本的 30% 以上, 因而开发低成本电极材料是压敏电阻器研发的一个十分重要的方向。

铜作为仅次于银的导电材料, 在诸多领域已经用于制备电子元件的电极, 如 MLCC 多层陶瓷电容器用端头电极和片式陶瓷电容器面电极、氧化铝陶瓷导体布线、环形钛酸锶压敏电阻电极等。在氧化锌压敏电阻领域也有不少企业开始制备铜电极, 但是由于铜相比于银材质熔点更高, 烧结温度普遍在 600°C 以上, 且需要氮气气氛。在这种条件下, 多数氧化锌压敏电阻直流三参数出现不良: 漏电流增加、压敏电压下降、 α 系数下降, 严重的则失去压敏特性, 严重阻碍了铜电极在该领域的应用。

笔者通过分析氮气气氛下不同烧结温度对氧化锌压敏电阻器直流三参数的影响, 确定最佳烧铜温度区间。通过大量实验研究铜浆中的铜粉粒径、玻璃粉配方对铜浆烧结活性的影响, 及铜浆在 99.999% 的氮气保护下工艺研究, 获得氮气保护下稳定低温铜浆, 可应用于性能优良的铜电极氧化锌压敏电阻器芯片。



新一代HT系列磁粉芯重磅发布！



KSF-HT Core

新一代低损耗铁硅磁芯

应用场景：光伏逆变器、车载电源、不间断电源

KPH-HT Core

新一代低损耗气雾化铁硅铝磁芯

应用场景：工业电源、光伏逆变器、服务器电源、储能系统



KH-HT Core

新一代低损耗、高偏置铁镍磁芯

应用场景：新能源汽车车载充电机、通信电源、服务器电源、DC/DC变换器

浙江东睦科达磁电有限公司

地址：浙江省湖州市德清县阜溪街道环城北路882号

电话：+86-572-8085882

邮箱：kda@kdm-mag.com

网址：<http://www.kda.com.cn>

邮编：313200



2 压敏电阻直流参数恶化机理探讨

2.1 氮气气氛下烧结温度对氧化锌压敏电阻直流参数的影响

前文提到，氧化锌压敏电阻在氮气气氛高温条件烧结下，直流三参数会恶化，但是鲜有文献提及具体的恶化温度点。因为三参数的恶化主要取决于烧结温度，与铜浆无明显关联，因此笔者采用以下简化的实验方式，寻求最佳的铜浆烧结温度点。具体步骤如下：

选取对氮气气氛最敏感的氧化锌压敏电阻芯片 14D471K，分为四组，每组 10 片；1 分组为标样，不做任何烧结；2 分组在氮气气氛中 550℃ 烧结；3 分组在氮气气氛中 450℃ 烧结；4 分组在氮气气氛中 350℃ 烧结。使用铅笔在表面涂覆导电层，使用 TTK(MOV-168EP) 测试直流三参数；具体实验结果见表 1。

表 1 不同烧结温度对压敏电阻直流三参数的影响

组别	烧结温度 (oC)	压敏电压范围 (V)	漏电流范围 (μA)	a 系数范围
1	不烧结	486 ~ 523	0.01 ~ 0.09	81 ~ 96
2	550	455 ~ 489	15.4 ~ 32.8	25 ~ 42
3	450	463 ~ 495	3.8 ~ 12.3	32 ~ 56
4	350	479 ~ 516	0.06 ~ 2.6	62 ~ 79

经过对比可以发现，氮气气氛下压敏直流三参数恶化的比例与烧结温度正相关。550℃ 压敏电压下降 6.34%，漏电流增加至 32.8μA，a 系数在 25 ~ 42 区间；450℃ 压敏电压下降 4.96%，漏电流增加至 12.3μA，a 系数在 32 ~ 56 区间；350℃ 烧结三参数则未见明显变化。对烧结温度进一步细化，发现 400℃ 为三参数恶化的转折温度点。

2.2 三参数恶化机理分析

使用扫描电子显微镜对 550℃ 烧结后的氧化锌压敏电阻芯片表面进行形貌分析，同时使用能谱分析仪分析表面成分变化，以期寻找三参数恶化的机理。具体分析结果见图 1 和图 2。

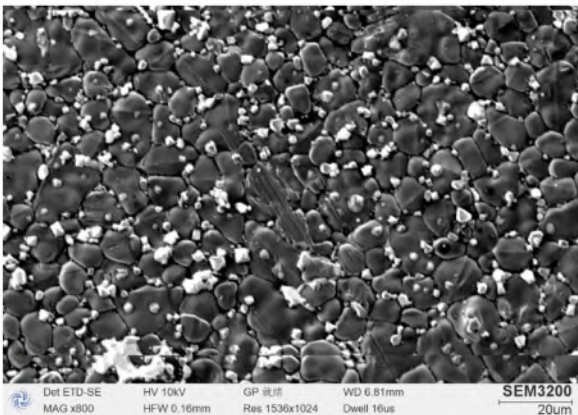


图 1 未烧压敏电阻被铜浆表面形貌

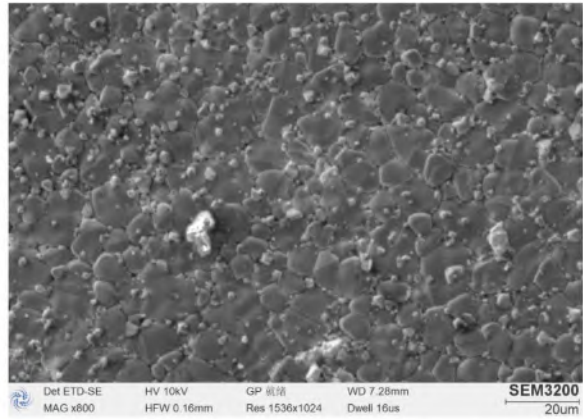
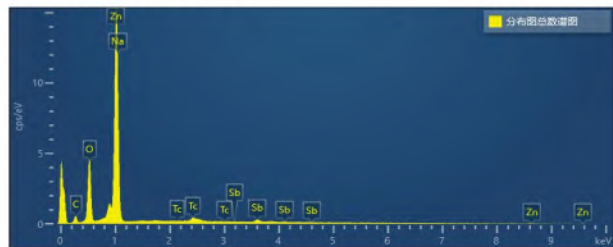


图 2 550℃ 氮气气氛烧后压敏电阻铜片表面形貌

对比图 1 和图 2 显示，经过 550℃ 氮气气氛烧结后，氧化锌压敏电阻陶瓷晶粒尺寸没有显示变化，大晶粒分布在 10 ~ 25μm 之间，表面有非常多的 1 ~ 2μm 的微小颗粒。但是，氮气气氛烧结后的晶界尺寸减小，晶界不像未烧结陶瓷的明显。由于压敏电阻的电性能和晶界数量和大小有较大的关联性，怀疑氮气气氛烧结破坏了晶界结构或者组分。

为了进一步确定影响机理，对表面做面扫描能谱分析。图 3 为未烧的能谱分析图，图 4 为 550℃ 烧后的能谱分析图。对比烧结前后的成分，未能发现 O 元素成分出现显著变化的趋势，排除表面 O 在氮气气氛中被 N 夺取的可能。同时发现，烧后的出现了 Al 和 Si 元素，但含量均低于 1%，超过能谱测试范围，是否确定含有这两种元素有待进一步的测试分析以确定。



元素	线类型	wt%	Wt % Sigma	At%
C	K 线系	8.35	0.39	23.52
O	K 线系	17.79	0.26	37.64
Na	K 线系	2.16	0.44	3.18
Zn	L 线系	64.93	0.56	33.61
Tc	L 线系	2.49	0.30	0.85
Sb	L 线系	4.27	0.35	1.19
总量		100.00		100.00

图 3 未烧压敏电阻能谱分析图

泛瑞新材料·材料新选择

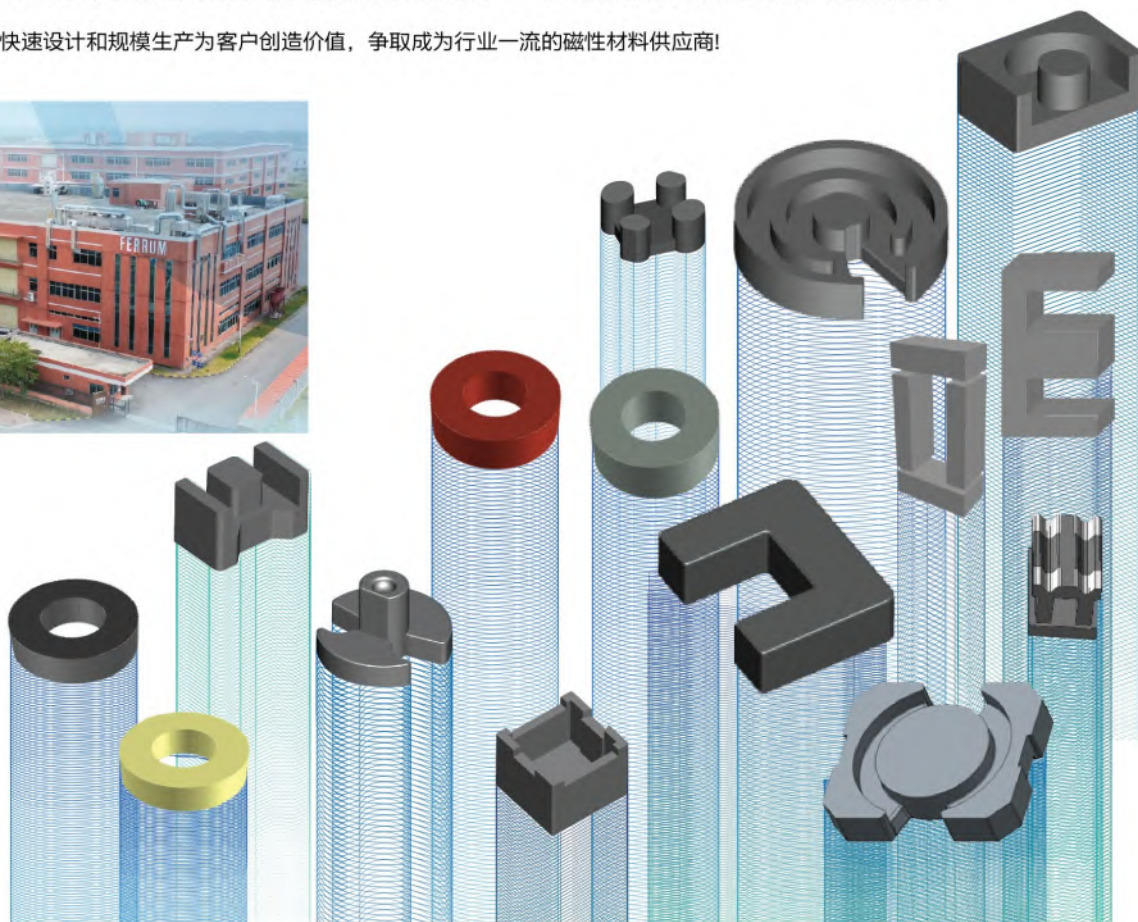
锰锌铁氧体 镍锌铁氧体 合金软磁 非晶纳米晶

TOTAL 一站购齐

广东泛瑞新材料有限公司是一家专业的材料供应商。2007年起以标旗品牌专注生产镍锌铁氧体和铁硅铬合金软磁产品，目前泛瑞涵盖了锰锌铁氧体、镍锌铁氧体、合金软磁和非晶纳米晶等四大系列，应用也由传统的消费电子、通讯和汽车电子拓展到数据中心、光伏、储能等新能源相关领域，并于2021年入选国家专精特新“小巨人”企业。公司锰锌产品可量产高频低损耗MP921、宽温低损耗MP332A、高饱和磁通密度MB182、宽频高阻抗MZ系列等材料。公司FeSi、FeSiAl、FeNi、FeSiCr等合金产品技术水平达到国际领先水准，产品具有低损耗高叠加性能等特点。

我们致力于为您提供“一站式”解决方案。我们建立了完善可靠的制造基地，从粉料到产品，从软磁到合金，从裸芯到电镀等，我们都可以为您量身定制。产品尺寸从小到大(0.5mm-245mm)，产品构造复杂多样。相信通过多种组合，您一定会找到满足您设计需求的产品解决方案。

我们秉持认真和坚持的理念，用快速设计和规模生产为客户创造价值，争取成为行业一流的磁性材料供应商!



FERRUM 广东泛瑞新材料有限公司
Guangdong Ferrum New Materials Co.,Ltd

Flag 标旗磁电产品(佛冈)有限公司
Flag Magnetic Products (Fogang) CO., LTD



联系人: 郭先生 18688903617
E-MAIL: sales@ferrum.cn

王小姐 13584968963
WEBSITE: <http://www.ferrum.cn>



锰锌铁氧体
MnZn Soft Ferrite Core



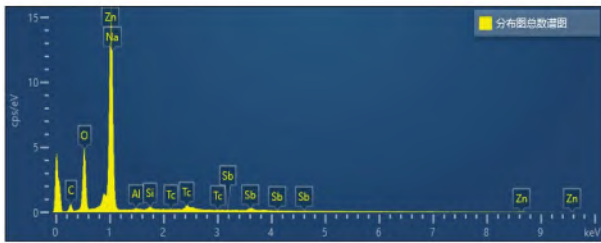
镍锌铁氧体
NiZn Soft Ferrite Core



合金软磁
Metal Alloy Products



非晶纳米晶
Amorphous core



元素	线类型	wt%	Wt % Sigma	At%
C	K 线系	9.17	0.33	24.88
O	K 线系	18.11	0.22	36.88
Na	K 线系	3.02	0.35	4.29
Al	K 线系	0.32	0.06	0.39
Si	K 线系	0.70	0.06	0.81
Zn	L 线系	61.55	0.45	30.66
Tc	L 线系	3.19	0.26	1.05
Sb	L 线系	3.93	0.29	1.05
总量		100.00		100.00

图4 550℃氮气气氛烧后压敏电阻能谱分析图

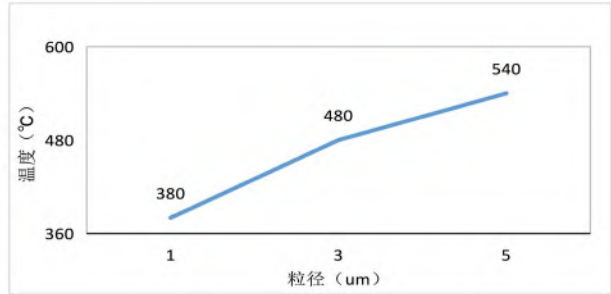


图5 铜粉粒径与烧铜温度对应曲线

3 铜浆配方的研究

3.1 铜粉烧结活性及粒径选择

铜粉作为铜浆中的关键材料，其本身烧结活性对浆料烧结温度有很大的影响。笔者通过将不同粒度（1μm、3μm、5μm）的铜粉与有机载体混合经过三辊研磨机轧制作成均匀铜浆，为排除其他因素影响，本实验不添加玻璃粉。分别 350 ~ 600℃温度区间氮气气氛烧结，以烧成后铜电极呈现明显金属光泽为烧成彻底的判据，得出不同粒度下铜粉的适宜烧结温度点，并根据测试结果绘制铜粉与烧铜温度对应曲线，见图 5。可以看出铜粉的粒径越粗其软化温度越高，主要原因是铜粉越细其表面活性越大。基于上述结果，后续铜浆试验均采用 1μm 铜粉。

3.2 玻璃粉配方研究

(1) 配料：玻璃粉配方参照表 2《玻璃粉配方表》进行，在所示范围内调整不同组分的含量，进行多分组实验。

(2) 混料：按比例配制以上配方在行星研磨中湿法混料 1 ~ 2h。

(3) 合成：将混合烘干后的玻璃粉放在刚玉钳锅熔成玻璃液体。

(4) 淬化：将熔化的玻璃液体倒入 < 50℃的纯水中淬化。

(5) 精细研磨：将淬化后的玻璃倒入行星磨中分别研磨 6 小时。烘干后研磨过 300 目筛，得到铜浆玻璃粉待用。

4 实验结果与分析

4.1 玻璃粉激光粒度分析

使用 JL-1155 型号激光粒度分布测试仪对玻璃粉粒径分布进行测试，具体结果见图 6，玻璃粉 D50 在 1.14μm，平均粒径 1.89μm，满足电子浆料制备的需求。

粒径 (μm)	体积累积分布 (%)	频度分布 (%)	粒径 (μm)	体积累积分布 (%)	频度分布 (%)	粒径 (μm)	体积累积分布 (%)	频度分布 (%)
0.1	3.54	3.54	3.4	83.83	1.37	13.0	99.68	0.10
0.2	7.61	4.07	3.6	85.04	1.41	14.0	99.68	0.00
0.3	12.56	4.95	3.8	86.39	1.35	15.0	99.68	0.00
0.4	17.90	5.34	4.0	87.60	1.20	16.0	99.68	0.00
0.5	22.96	5.06	4.2	88.58	0.99	17.0	99.74	0.06
0.6	27.26	4.30	4.4	89.38	0.80	18.0	99.83	0.09
0.7	31.11	3.85	4.6	90.06	0.68	19.0	99.92	0.05
0.8	35.04	3.93	4.8	90.67	0.61	20.0	100.00	0.08
0.9	39.42	4.37	5.0	91.27	0.60	21.0	100.00	0.00
1.0	43.98	4.56	5.5	92.88	1.61	22.0	100.00	0.00
1.2	52.13	8.15	6.0	94.38	1.50	23.0	100.00	0.00
1.4	58.39	6.26	6.5	95.46	1.08	24.0	100.00	0.00
1.6	63.70	5.32	7.0	96.17	0.71	25.0	100.00	0.00
1.8	68.46	4.76	7.5	96.85	0.68	26.0	100.00	0.00
2.0	72.38	3.93	8.0	97.05	0.40	27.0	100.00	0.00
2.2	75.28	2.90	8.5	97.48	0.43	28.0	100.00	0.00
2.4	77.33	2.04	9.0	97.93	0.45	29.0	100.00	0.00
2.6	78.78	1.46	9.5	98.37	0.44	30.0	100.00	0.00
2.8	79.92	1.14	10.0	98.76	0.39	32.0	100.00	0.00
3.0	81.01	1.09	11.0	99.30	0.54	34.0	100.00	0.00
3.2	82.26	1.25	12.0	99.58	0.28	36.0	100.00	0.00
D10%:0.25μm D50%:1.14μm D90%:4.58μm D97%:7.93μm 平均粒径:1.89μm 狭度:36 model:ct								

表 2 玻璃粉配方表

材料	Bi ₂ O ₃	H ₃ BO ₃	CuO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅
配比 (%)	55 ~ 65	8 ~ 13	3 ~ 5	0.2 ~ 0.4	0.2 ~ 0.4	0.1 ~ 0.2	2 ~ 10



天长市中德电子有限公司
TIANCHANG ZHONGDE ELECTRONICS CO.,LTD
安徽聚虹电子有限公司



www.tczhongde.cn

客户服务热线 136 3702 2235
QQ: 464864120



新能源磁元件基础材料 一站式供应商

中德直接和间接服务于SMA、SOLAREEDGE、阳光光伏、飞利浦、美的、格力、上海沪工、深圳瑞凌、可立克

ZHONGDE SERVES BOTH DIRECTLY AND INDIRECTLY AT SMA, SOLAREEDGE, SUN GROW, PHILIPS, MIDEA, GREE, HUGONG, RILAND, CLICK



solar edge
architects of energy

SUNGROW
阳光电源

PHILIPS

美的 Midea

GREE 格力



RILAND

click



锰锌铁氧体

@MN ZN FERRITE



电磁线

ELECTROMAGNETIC WIRE



铁硅、铁硅铝、铁粉芯

@IRON, SILICON, IRON, SILICON, ALUMINUM, IRON POWDER CORE



聚虹电器线缆

总公司地址：安徽省天长市经七路
联系人：蔡先生
手机：13909600273
电话：0550-7304948 7306089
传真：0550-7307342 邮编：239300

Address: Tianye Road NO.98 Tianchang City AnHui Province
Tel: +86-550-7304948/7306801
Fax: +86-550-7307342
Email: zdec@zdec.cn
Postcode: 239300



扫描二维码，了解更多产品

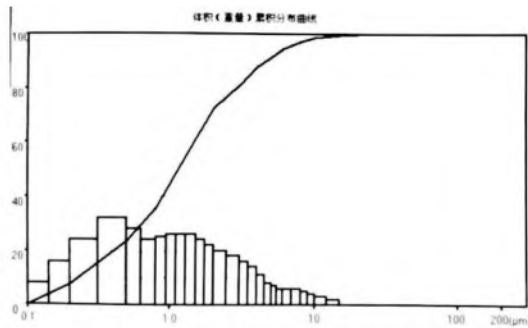


图6 研磨后玻璃粉的粒度分布图

4.2 玻璃粉熔化温度

为实现铜浆的低温烧结，必须借助低熔点的玻璃，以实现在低温条件下对铜颗粒的有效助烧效果，并实现铜层与氧化锌基体的相互渗透和物理结合，实现良好的附着力。通过将研磨后的玻璃粉末在不同温度下烧结，获取玻璃粉的软化温度。表3列出了试验中典型的低温玻璃配方。可以看出，在铋系玻璃种引入 P_2O_5 可以有效的降低玻璃软化点，但是当 P_2O_5 含量进一步提高后，玻璃在水淬和研磨过程中出现溶解现象，玻璃成分不稳定，无法进一步提升。

4.3 玻璃粉熔化温度与铜浆附着力的关系

将玻璃粉与 $1\mu m$ 的铜粉及乙基纤维素、松油醇在三辊轧磨机上辊轧成铜浆，通过 200 目丝网印刷工艺，制备 $12 \sim 15\mu m$ 的铜电极层，使用 $Sn_{96.5}Ag_{3.0}Cu_{0.5}$ 焊锡和松香助焊剂体系 $250^\circ C$ 焊接，使用自动拉力测试台检测铜电极与基材的结合力。重点考察表3中引入 P_2O_5 的低熔点低熔点玻璃对铜浆的温度及压敏电阻器附着力影响，不同软化点玻璃附着力测试见表4。

表4 P_2O_5 添加量对铜浆附着力的影响

P_2O_5	0	3	6
玻璃软化温度 ($^\circ C$)	480	370	310
烧铜温度 ($^\circ C$)	500	380	380
铜浆附着力 (kN/mm^2)	0.7	0.5	0.1

可以看出，虽然 P_2O_5 可以降低玻璃软化点，但是在玻璃熔化的温度下，并未能与基材形成有效的结合，附着力反而呈下降趋势。

4.4 玻璃粉中 CuO 含量与铜浆附着力的关系

笔者对其他软化点低于 $400^\circ C$ 的玻璃也进行相关附着力测试，发现氧化铜的引入可以提高铜浆烧结后与基材的附着力。分别使用玻璃3和玻璃5配制所需要的铜浆，按照前述工艺 $380^\circ C$ 氮气气氛烧结铜电极，具体附着力测试数据见表5。

表5 玻璃3和玻璃5配制铜浆结合力

玻璃样编号	玻璃3	玻璃5
玻璃软化温度 ($^\circ C$)	340	380
烧铜温度 ($^\circ C$)	380	380
铜浆附着力 (kN/mm^2)	0.56	1.24

结果显示，即便在熔化温度更高的情况下，玻璃5的结合力仍明显高于玻璃3。对比两者之间的差别，主要是氧化铜含量的不同，玻璃5含量高于玻璃3。笔者推测玻璃中一定含量的 Cu 元素有利于铜浆烧结过程中 Cu 元素的传质，能够更有效的促进铜浆的烧结。图7为该型铜浆烧成后的 SEM 表面形貌图，主要晶粒大小普遍在 $7 \sim 15\mu m$ 之间，烧结效果良好。

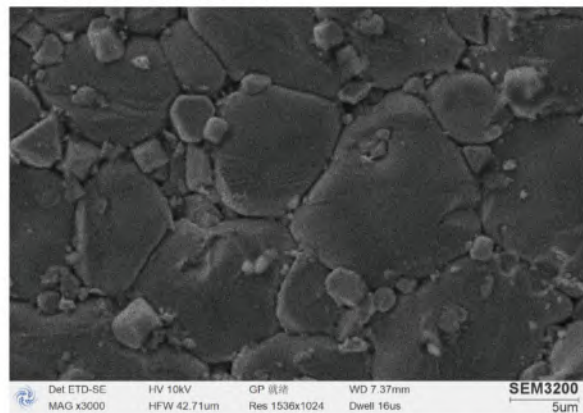


图7 铜浆烧成后的 SEM 表面形貌图

表3 低温玻璃配方

材料	Bi_2O_3	H_3BO_3	CuO	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	P_2O_5	熔化温度 ($^\circ C$)
玻璃1	58	10	3	0.2	0.4	0.2	0	480
玻璃2	58	10	3	0.2	0.4	0.2	3	370
玻璃3	58	10	3	0.2	0.4	0.2	6	340
玻璃4	58	10	3	0.2	0.4	0.2	10	水淬后溶解
玻璃5	58	10	5	0.2	0.4	0.2	3	380
玻璃6	58	10	5	0.2	0.4	0.2	6	360



QDYL

- 专利120余项
- 发明专利10项

专业磁性材料和磁性元器件 ● 解决方案提供商

2021年青岛云路集团全年完成销售收入42个亿RMB

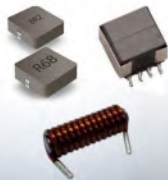


实验平台通过中国合格评定国家认可委员会 (CNAS) 认可。

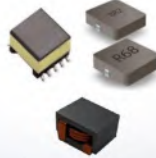
申请标准34个, 涉及被动元器件汽车级品质认证测试、电工电子产品环境试验及电气测量项目等。

青岛云路 ● 已完成ISO9001、ISO14000、QC080000、IATF16949认证工作。

● 汽车辅助系统系列



Navigation导航
ISG (Idle Stop & Go)节能自动启停技术
Noise Filter静噪滤波器
Drive & Control驱动、控制
BMS电池管理系统



逆变器



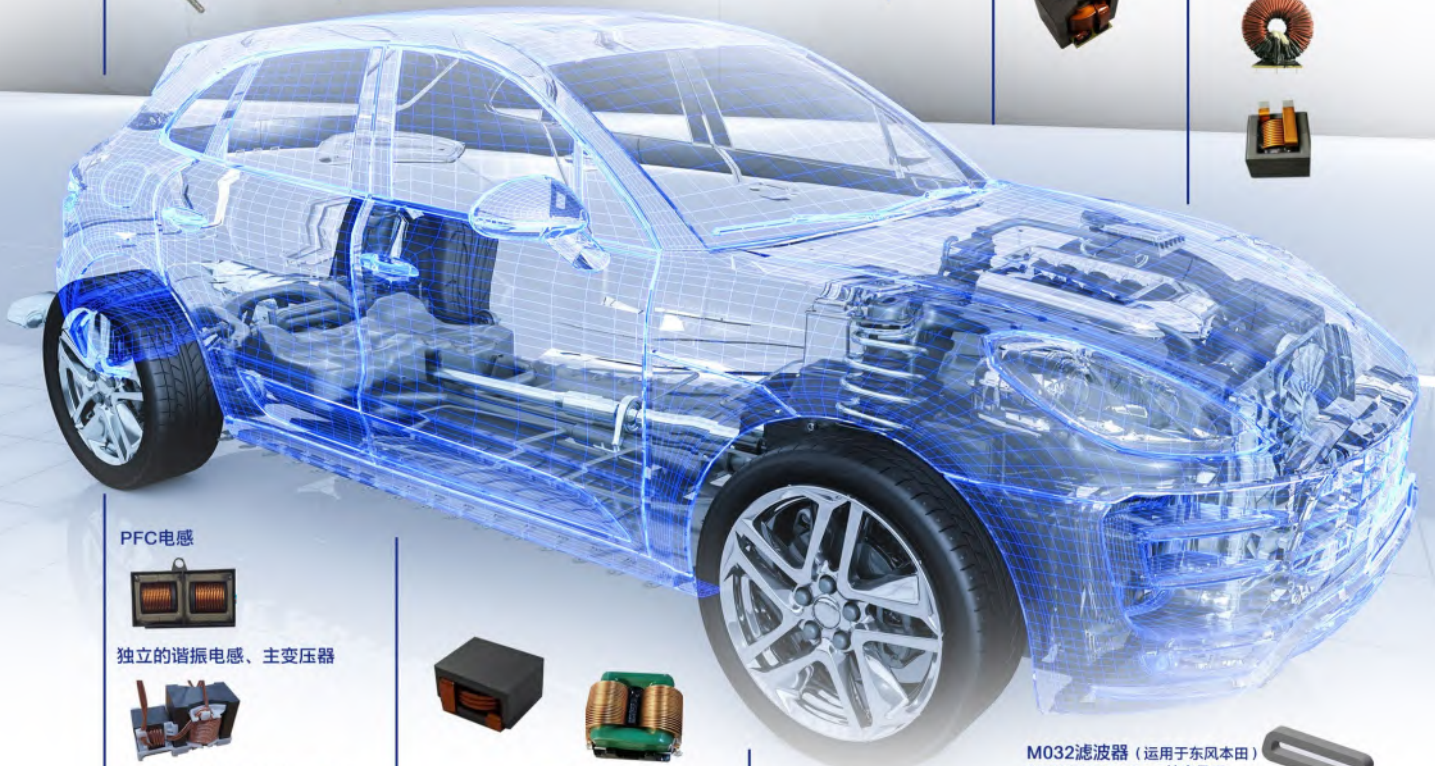
OBC车载充电机



电动助力转向系统



空调电子控制单元



PFC电感



独立的谐振电感、主变压器



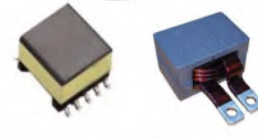
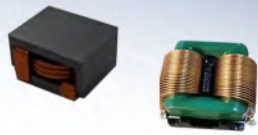
谐振电感和主变压器磁集成



变压器漏感作为谐振电感



● OBC 1.5KW-40KW系列



● DC/DC 0.3KW-4.5KW系列

驱动变压器



EI07滤波器
纳米晶环



BOOST电感



EI09滤波器
纳米晶环



M032滤波器 (运用于东风本田)
62.7*17.6*16.3mm纳米晶环



M036滤波器 (运用于岚图汽车)
纳米晶环



M018滤波器 (运用于东风越野)
纳米晶环



AC滤波器 (运用于奥迪)
纳米晶环



● 车载产品展示

● 家电传统类磁性元件



高频系列



工频系列



环形共模
系列



互感器等
其他系列

● 工业、新能源、5G类磁性元件



工业类



新能源充
电桩类



5G类

● 平板、贴片类磁性元件



平板类



贴片电感类

● 光伏类磁性元件



贴片变压
器类



20-300KW系
列磁性元件



1.0-20KW系
列磁性元件

青岛云路新能源科技有限公司
Qingdao Yunlu Energy Technology Co., LTD

地址: 山东省青岛市即墨区蓝村镇鑫源东路9号
电话: 0532-82590332 传真: 0532-82593000



官网



扫描二维码
了解更多产品

4.5 玻璃粉的粒径对软化温度和组分对附着力的影响

通过调整5号玻璃粉球磨时间,获取不同D50粒径的玻璃粉,考察不同粒径玻璃对铜浆附着力的影响。具体测试结果见表6。

表6 不同D50粒径玻璃粉制作铜浆附着力

材质	D50 粒径 (μm)	软化温度 (°C)	铜浆附着力 (kN/mm ²)
玻璃粉	0.8	375	1.06
	1.6	380	1.05
	2.4	385	0.98

可以看出:不同球磨粒度的玻璃粉对铜浆附着力影响不大,在尺寸较大时附着力略有下降趋势,保障1μm左右的D50尺寸可以保障铜浆附着力的可靠。这是因为玻璃在烧结过程中都会熔化为液态,其颗粒尺寸对熔化点影响不大,因此在浆料中都可实现较为均匀分布。

5 铜浆烧结工艺研究

有机物的在氮气气氛下的分解相比空气条件下更加困难,由于铜浆由于烧结温度更低,有机物残留会更多,甚至导致金属碳化影响烧结活性,附着力消失。在烧结过程中通入少量的氧气,即可以起到加快有机物分解的作用,也不会导致铜面氧化。

表8 低温压敏电阻器铜浆

烧结温度 (°C)	氮气纯度 (%)	a 值	漏电流 (μA)	压敏电压 (V)	附着力 (kN/mm ²)
360~380	99.999	> 40	≤ 1.2	规定范围内	> 1.0

上接60页

积区域,基片对溅射原子的收集效率就会减小,从而导致了沉积速率的降低。

(2) 随着Ar气分子的增多,溅射原子与Ar气分子的碰撞次数大量增加,这导致溅射原子能量在碰撞过程中大大损失,致使粒子到达基片的数量减少,沉积速率下降。

6.6 结论

通过试验,及对结果的分析可以得出如下结论:在其他参数不变的条件下,随着工作气压的增大,沉积率先增大后减小。在某一个最佳工作气压下,有一个对应的最大沉积率。

虽然以上工作气压与沉积率的关系规律只是在纯铜靶

笔者在该方面做过大量研究,表7列出氧含量对压敏参数漏电流和a值得影响,供参考。

表7 氧含量对压敏参数

烧结条件	升温区氧含量 (ppm)	a 值	漏电流 (μA)
烧结温度: 380°C 氮气纯度: 99.999%	0	21	3.6
	10	68	0.8
	20	40	2.3

需要指出的是,为确保良好的实验结果,本文所列试验铜浆的烧结气氛均为氧含量10ppm的氮气。

6 结论

通过对压敏铜浆玻璃粉的研究及各种条件的变化,最终笔者获得以下的低温压敏电阻器铜浆,见表8。

参考文献

- 1 曲远方. 功能陶瓷及应用. 北京: 化学工业出版社, 2003.1 ISBN 7-5025-4001-6 第400-401页
- 2 吴玉胜, 李春明. 功能陶瓷材料及制备工艺. 北京: 化学工业出版社, 2013.9 ISBN 978-7-122-18101-5 第83~84页

材和陶瓷基片上得到的,但对其他不同靶材与基片的镀膜工艺研究也具有一定的参考价值。

参考文献

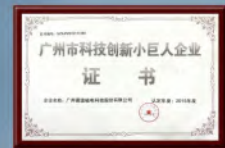
- 1 王增福. 实用镀膜技术. 北京:电子工业出版社, 2008-03
- 2 磁控溅射. <https://baike.so.com/doc/5924220-6137141.html>
- 3 磁控溅射镀膜原理及工艺. <https://wenku.so.com/d/c3962803fb3311a97bd2b48ea4a5791f>



德珧集团创立于2004年，总部位于广州，注册资本3888万，目前在广州、深圳、合肥、杭州等多地设有总部基地和分支机构。

公司在新器件、新材料、新工艺的开发及产业化转化方面积累了丰富的经验，与各大高校、院所建立了密切的产学研合作，已成功申请了数十项的发明专利和实用新型专利。

荣誉与资质



主营产品



网侧三相电感



光伏组合磁芯电感



光伏大功率组合电感



大功率逆变电感



UC电感



UYF谐振变压器



PFC电感



电源滤波器